

面向
21世纪
高级应用型人才

中国高等职业技术教育研究会推荐
高职高专系列教材

电 工 基 础

王秀英 主 编
刘守义 主 审

西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

□ 中国高等职业技术教育研究会推荐

高职高专系列教材

电 工 基 础

王秀英 主编

唐民丽 李国彬 王丹 徐国芹 副主编

刘守义 主审

西安电子科技大学出版社

2004

内 容 简 介

本书是由中国高等职业技术教育研究会与西安电子科技大学出版社共同策划、组织的高职高专机电类专业系列教材之一。

本书共分为10章,主要包括电路的基本概念和基本定律,线性电路的等效变换法,电路分析的网络方程法,正弦交流电路的分析,谐振电路,三相电路,互感耦合电路,三相异步电动机,动态电路的时域分析和电工基础技能训练等。为帮助学生进一步理解,本书每一小节后都有思考与练习题,同时每章后都配有大量的习题。

本书内容广,深浅度适中,实用性强,可作为高职高专学校的电气技术、电气自动化、计算机控制技术等专业教材,也适用于职工大学、电视大学,并可供其他相关专业师生及工程技术人员参考。

★本书配有电子教案,需要的教师可与西安电子科技大学出版社联系,免费提供。

图书在版编目(CIP)数据

电工基础/王秀英主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2004.7
(高职高专系列教材)

ISBN 7-5606-1403-5

I. 电… II. 王… III. 电工基础—高等学校:技术学校—教材 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 046565 号

策 划 马武装

责任编辑 王 瑛 马武装

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 西安文化彩印厂

版 次 2004年7月第1版 2004年7月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张18

字 数 423千字

印 数 1~4000册

定 价 19.00元

ISBN 7-5606-1403-5/TM·0019(课)

XDUP 1674001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

序

1999 年以来,随着高等教育大众化步伐的加快,高等职业教育呈现出快速发展的形势。党和国家高度重视高等职业教育的改革和发展,出台了一系列相关的法律、法规、文件等,规范、推动了高等职业教育健康有序的发展。同时,社会对高等职业技术教育的认识在不断加强,高等技术应用型人才及其培养的重要性也正在被越来越多的人所认同。目前,高等职业技术教育在学校数、招生数和毕业生数等方面均占据了高等教育的半壁江山,成为高等教育的重要组成部分,在我国社会主义现代化建设事业中发挥着极其重要的作用。

在高等职业教育大发展的同时,也有着许多亟待解决的问题。其中最主要的是按照高等职业教育培养目标的要求,培养一批具有“双师素质”的中青年骨干教师;编写出一批有特色的基础课和专业主干课教材;创建一批教学工作优秀学校、特色专业和实训基地。

为解决当前信息及机电类精品高职教材不足的问题,西安电子科技大学出版社与中国高等职业技术教育研究会分两轮联合策划、组织编写了“计算机、通信电子及机电类专业”系列高职高专教材共 100 余种。这些教材的选题是在全国范围内近 30 所高职高专院校中,对教学计划和课程设置进行充分调研的基础上策划产生的。教材的编写采取公开招标的形式,以吸收尽可能多的优秀作者参与投标和编写。在此基础上,召开系列教材专家编委会,评审教材编写大纲,并对中标大纲提出修改、完善意见,确定主编、主审人选。该系列教材着力把握高职高专“重在技术能力培养”的原则,结合目标定位,注重在新颖性、实用性、可读性三个方面能有所突破,体现高职教材的特点。第一轮教材共 36 种,已于 2001 年全部出齐,从使用情况看,比较适合高等职业院校的需要,普遍受到各学校的欢迎,一再重印,其中《互联网实用技术与网页制作》在短短两年多的时间里先后重印 6 次,并获教育部 2002 年普通高校优秀教材二等奖。第二轮教材预计在 2004 年全部出齐。

教材建设是高等职业院校基本建设的主要工作之一,是教学内容改革的重要基础。为此,有关高职院校都十分重视教材建设,组织教师积极参加教材编写,为高职教材从无到有,从有到优、到特而辛勤工作。但高职教材的建设起步时间不长,还需要做艰苦的工作,我们殷切地希望广大从事高等职业教育的教师,在教书育人的同时,组织起来,共同努力,编写出一批高职教材的精品,为推出一批有特色的、高质量的高职教材作出积极的贡献。

中国高等职业技术教育研究会会长

李宗尧

机电类专业系列高职高专教材

编审专家委员会名单

主任：刘跃南（深圳职业技术学院教务长，教授）

副主任：方 新（北京联合大学机电学院副院长，副教授）

李荣才（西安电子科技大学出版社总编辑，教授）

成 员：（按姓氏笔画排列）

刘守义（深圳职业技术学院工业中心主任，副教授）

李七一（南京工业职业技术学院机械工程系主任，副教授）

李望云（武汉职业技术学院机械系主任，副教授）

宋文学（西安航空技术高等专科学校机械系副主任，副教授）

邱士安（成都电子机械高等专科学校机电工程系副主任，副教授）

胡德淦（郑州工业高等专科学校机械工程系副教授）

高鸿庭（上海电机技术高等专科学校机械系副教授）

郭再泉（无锡职业技术学院自控与电子工程系副主任，副教授）

蒋敦斌（天津职业大学机电工程系主任，教授）

董建国（湖南工业职业技术学院机械工程系主任，副教授）

翟 轰（陕西工业职业技术学院院长，教授）

项目总策划：梁家新

项目策划：马乐惠 云立实 马武装 马晓娟

电子教案：马武装

前 言

由中国高等职业技术教育研究会与西安电子科技大学出版社共同策划、组织的高职高专机电类专业系列教材编审专家委员会于2002年12月23日在西安召开。本书经与会专家评议,讨论通过。

“电工基础”课程是机电类专业的一门重要的技术基础课。多年来,在“电工基础”课程的教学过程中,我们先后使用过多种教材和讲义。为适应电子技术和电路理论的迅速发展,根据国家教委对高等职业技术学院的教学要求,在教学实施中,我们对教材内容不断地进行调整、提炼和更新,逐渐形成了一定的教学特色,本书也正是在此基础上编写而成的。

本书在编写过程中主要突出以下几个方面:

1. 内容广

“电工基础”作为电学的基础学科,要求教材对电学的基础理论——基本概念、元件、定律、方法等做一个详细介绍,因此本书涉及的面比较宽,从直流到交流,从稳态到暂态。我们从不同角度、不同侧面组织材料,针对高职学生特点使本书做到知识面广而不杂,脉络清晰。

2. 深浅度适中

高等职业技术学院是培养面向21世纪的应用型人才的学校。为体现这一宗旨,我们在编写过程中尽可能避开抽象的理论推导,而注重强调各元件的外特性以及在电学中的应用,使学生既能学会分析电路的方法,又不会被其复杂的理论推导所困扰;强调理论以够用为度,突出实用性,充分体现高等职业技术学院的办学特色。

3. 实用性强

“电工基础”是与实际联系比较密切的一门学科,因此在编写过程中尽可能贴近实际。比如在电阻的串、并联电路分析中,我们介绍了利用串联电阻的分压特性实现扩大电压表的量程,利用并联电阻的分流特性实现扩大电流表的量程等实际电路。用充分的实例来说明,以帮助学生理解有关概念和理论。同时,在实训教学上,我们除安排一部分传统实训外,还开设了旨在开发学生智力,探索创新的一部分实训内容。比如电路故障的排除,功率因数的提高,万用表的组装等。这些是以所学知识为基础,同时又是对理论知识的升华,使学生能学有所用。

为帮助学生进一步理解,本书每一小节后都有思考与练习题,同时每章后都配有大量的习题。

本书包括电路的基本定律,直流稳态电路的分析,交流稳态电路的分析,互感电路的分析,动态电路的分析以及电路实训部分等。参考教学学时为 90~100 学时,各教学单位可根据实际情况进行调整。

本书由辽宁工程技术大学职业技术学院王秀英担任主编,唐民丽、李国彬、王丹、徐国芹担任副主编,深圳职业技术学院刘守义担任主审。该书的编写分工为:第 1~3 章及第 10 章中的综合实训二由王秀英编写,第 4~7 章由唐民丽编写,第 8 章由李国彬编写,第 9 章由徐国芹编写,第 10 章的其余部分由王丹编写。全书由王秀英负责统稿。

由于编者水平有限,书中的错误和不妥之处在所难免,敬请使用本书的老师和同学批评指正。

编 者

2004 年 1 月

目 录

第 1 章 电路的基本概念和基本定律	1	2.3 电感元件与电容元件的连接	36
1.1 电路和电路模型	1	2.3.1 电感元件的串、并联及其等效	36
1.1.1 电路	1	2.3.2 电容元件的串、并联及其等效	38
1.1.2 电路模型	2	2.4 电源的等效变换	40
1.1.3 单位制	3	2.4.1 理想电源的等效变换	40
1.2 电路中的基本物理量	3	2.4.2 两种实际电源的等效变换	40
1.2.1 电流	4	2.4.3 受控源的等效变换	42
1.2.2 电压	5	2.5 叠加定理与替代定理	43
1.2.3 电位	6	2.5.1 叠加定理	43
1.2.4 功能和能量	7	2.5.2 齐次定理	46
1.3 电阻、电容、电感元件及其 VCR 特性	9	2.5.3 替代定理	48
1.3.1 电阻元件及其 VCR 特性	9	2.6 戴维南定理与诺顿定理	50
1.3.2 电容元件	11	2.6.1 戴维南定理	50
1.3.3 电感元件	13	2.6.2 诺顿定理	54
1.4 电路中的电源	15	本章小结	56
1.4.1 电压源	15	习题 2	57
1.4.2 电流源	16	第 3 章 电路分析的网络方程法	63
1.4.3 受控源	17	3.1 支路电流法	63
1.5 基尔霍夫定律	19	3.2 节点分析法	66
1.5.1 电路中常用的名词	19	3.2.1 节点分析法及其一般形式	66
1.5.2 基尔霍夫电流定律(KCL)	19	3.2.2 应用节点电压法的解题步骤	67
1.5.3 基尔霍夫电压定律(KVL)	20	3.3 回路分析法	69
本章小结	23	3.3.1 回路电流法及其一般形式	69
习题 1	24	3.3.2 应用回路电流法的解题步骤	71
第 2 章 线性电路的等效变换法	27	本章小结	74
2.1 电阻的串联和并联	27	习题 3	74
2.1.1 电阻的串联及其分压	27	第 4 章 正弦交流电路的分析	78
2.1.2 电阻的并联及其分流	29	4.1 正弦交流电路的基本概念	78
2.1.3 电阻混联的分析与计算	31	4.1.1 基本概念	78
2.2 电阻的星形连接和三角形连接的 等效变换	33	4.1.2 正弦量的三要素	79
2.2.1 基本概念	34	4.1.3 正弦量的相位差	82
2.2.2 电阻的星形连接和三角形连接的 等效变换	34	4.2 正弦量的相量表示法	83
2.2.3 应用举例	35	4.2.1 复数简介	84
		4.2.2 正弦量的产生	86
		4.2.3 正弦量的相量表示法	87

4.3 电路基本定律的相量形式	89	5.3.1 并联谐振的条件	124
4.3.1 正弦交流电路基本定律的 表示原则	89	5.3.2 并联谐振的特征	125
4.3.2 应用举例	90	5.4 并联谐振电路的谐振曲线及通频带 ...	127
4.4 电阻、电感、电容元件上电压 与电流的相量关系	91	5.4.1 并联谐振电路的幅频曲线	127
4.4.1 电阻元件上电压与电流的 相量关系及功率	91	5.4.2 并联谐振电路的通频带	128
4.4.2 电感元件上电压与电流的 相量关系及功率	93	5.4.3 应用	128
4.4.3 电容元件上电压与电流的 相量关系及功率	95	5.5 复杂的并联谐振电路	129
4.5 用相量法分析 RLC 串联电路及 多阻抗串联电路	97	5.5.1 并联谐振电路谐振阻抗的 一般计算公式	129
4.5.1 RLC 串联电路电压与电流的 关系	97	5.5.2 双电感和双电容并联谐振回路的 谐振频率和谐振阻抗	131
4.5.2 复阻抗与复导纳	98	本章小结	133
4.5.3 复阻抗串联电路的分析	100	习题 5	134
4.5.4 功率	101		
4.5.5 举例	101	第 6 章 三相电路	137
4.6 多阻抗并联电路的分析	103	6.1 三相电源与三相负载	137
4.6.1 阻抗法	103	6.1.1 三相电源	137
4.6.2 导纳法	103	6.1.2 三相电源的连接	138
4.6.3 功率	105	6.1.3 三相负载及其连接	139
4.6.4 举例	105	6.2 对称三相电路的计算	142
4.7 功率因数的提高	107	6.2.1 三相电路功率的计算	142
4.7.1 提高功率因数的意义	107	6.2.2 对称负载星形连接时 基本物理量的计算	143
4.7.2 提高功率因数的方法	108	6.2.3 对称负载三角形连接时 基本物理量的计算	144
4.8 正弦交流电路负载获得 最大功率的条件	109	本章小结	146
本章小结	111	习题 6	146
习题 4	113		
第 5 章 谐振电路	117	第 7 章 互感耦合电路	148
5.1 串联电路的谐振	117	7.1 互感	148
5.1.1 谐振的概念	117	7.1.1 互感现象	148
5.1.2 串联谐振的条件	117	7.1.2 互感系数	148
5.1.3 串联谐振的基本特征	118	7.1.3 耦合系数	149
5.2 串联电路的谐振曲线及通频带	121	7.1.4 互感电压	149
5.2.1 串联谐振的幅频曲线	121	7.1.5 互感线圈的同名端	149
5.2.2 串联谐振电路的通频带	122	7.2 互感线圈的串联	152
5.2.3 应用	123	7.2.1 互感线圈的顺向串联	153
5.3 并联电路的谐振	124	7.2.2 互感线圈的反向串联	153
		7.2.3 互感与等效电感的关系	153
		7.3 互感线圈的并联	155
		7.3.1 互感线圈等效电感的计算	155
		7.3.2 互感消去法	156
		7.3.3 举例	157

7.4 空心变压器	158	本章小结	194
7.4.1 空心变压器	158	习题 8	195
7.4.2 反射阻抗	159		
7.4.3 空心变压器的等效电路	160	第 9 章 动态电路的时域分析	196
7.4.4 举例	160	9.1 换路定律与初始值	196
7.5 磁场知识简介	162	9.1.1 换路定律	196
7.5.1 磁场的基本物理量	162	9.1.2 初始值的计算	198
7.5.2 铁磁性物质的磁化曲线	164	9.2 一阶电路的响应	201
7.5.3 交流铁心线圈	165	9.2.1 一阶电路的零输入响应	201
7.6 理想变压器	166	9.2.2 一阶电路的零状态响应	206
7.6.1 理想变压器的条件	166	9.2.3 一阶电路的全响应	209
7.6.2 原、副线圈的电压与电流关系	166	9.3 一阶电路的三要素法	212
7.6.3 理想变压器的等效变换	167	9.4 一阶电路的阶跃函数与阶跃响应	216
7.6.4 举例	167	9.4.1 单位阶跃函数	216
本章小结	168	9.4.2 阶跃响应	218
习题 7	170	9.5 二阶动态电路的分析	220
		本章小结	225
第 8 章 三相异步电动机	173	习题 9	226
8.1 电机概述	173		
8.1.1 我国电机制造业的发展	173	第 10 章 电工基础技能训练	232
8.1.2 电机的应用	174	实训一 常用电工仪器仪表的使用	232
8.1.3 电机的主要类型	174	实训二 基尔霍夫定律的验证	236
8.2 三相异步电动机的结构	176	实训三 戴维南定理的验证	237
8.2.1 三相异步电动机结构的 主要部件	177	实训四 日光灯电路及功率因数的提高	240
8.2.2 三相异步电动机的铭牌数据	180	实训五 交流电路参数的测定	243
8.3 三相异步电动机的工作原理	182	实训六 串、并联谐振	244
8.3.1 旋转磁场的产生	182	实训七 三相交流电路	248
8.3.2 三相异步电动机的工作原理	184	实训八 单相变压器	251
8.4 三相异步电动机的启动	186	实训九 三相异步电动机实验	253
8.4.1 三相异步电动机的直接启动	186	实训十 一阶电路的响应	256
8.4.2 三相异步电动机的降压启动	187	综合实训一 电路故障的排除	259
8.5 三相异步电动机的调速	190	综合实训二 万用表的组装	263
8.5.1 变极调速	190		
8.5.2 变频调速	192	习题参考答案	272
8.5.3 改变转差率调速	193	参考文献	278

第 1 章 电路的基本概念和基本定律

随着科学技术的进步,各种集成电路已应用到许多领域,电路的分析与设计也已从手工设计转为电脑设计,但这些都需电路的基本知识做基础。本书的主要内容是介绍电路理论的入门知识,为学习电子电路、电机电路以及控制与测量电路打下坚实的基础。

本章主要介绍电路的基本物理量(电流、电压和功率),电路的基本定律(基尔霍夫定律)以及电路的基本元件(电流源、电压源、受控源、电阻、电容、电感元件)的基本特性。这是学习电路的基础。

1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路

人们在日常生活中或在生产和科研中广泛地使用着各种电路。如照明电路,收音机、电视机中的放大电路,从不同信号中选取所需信号的调谐电路,各种控制电路,以及生产科研上所需的各种专门用途的电路等。

那么,什么是电路呢?电路是由一些电气设备和元器件按一定方式连接起来的整体,它提供了电流流通的路径。

就电路特性来看,电路可分为两种。一种是集中参数电路,另一种是分布参数电路。当实际电路的几何尺寸远小于工作波长 $\lambda(\lambda=c/f)$ 时,可以认为传送到实际电路各处的电磁能量同时到达。这时,与电磁波的波长相比,电路尺寸可以忽略不计。从电磁场理论的观点来看,整个实际电路可看作是电磁空间的一个点。我们在研究电路时可以只关心各元件上端电压与端电流的关系,而不用考虑其内部的物理过程。在这种电路中,二端子元件可用其端电压与端电流的关系来描述它们的电磁性能,它们仅为时间函数,与空间位置无关,在任一时刻,都是单值的量。我们把具有上述特性的电路元件称为集中参数元件。由这些元器件组成的电路称为集中参数电路。例如,我国工业用电频率为 $f=50\text{ Hz}$,其波长为 6000 km ,若实际电路范围为 30 km ,则实际电路范围为其波长的 $1/200$,可以将其认为是集中参数电路。

当实际电路的几何尺寸与其电磁波的波长相近时,需要用分布参数电路理论或电磁场理论来研究。例如,若电视机接收信号频率为 $f=200\text{ MHz}$,则其波长为 1.5 m ,这时即使是 2.2 m 长的传输线也不能看作是集中参数电路了。

本书所讲的电路理论是针对集中参数电路的。

按元器件在电路中所起作用的不同,电路可分为电源和负载两种。在实际电路中,电

能或电信号的发生器称为电源，它向电路提供电能；用电设备称为负载，它在电路中消耗电能。

电路中的电压和电流是在电源的作用下产生的，因此电源又称为激励源。而由激励在电路中产生的电压和电流称为响应。有时，根据激励和响应之间的因果关系，把激励称为输入，响应称为输出。

1.1.2 电路模型

在集中参数电路中，为了便于进行分析和计算，在一定条件下，把实际元件加以近似化、理想化，忽略其次要性质，用足以表征其主要特征的“模型”来表示，我们把这种元件称为理想元件。例如，电阻器、电烙铁、电饭煲等，当电流通过时，在它内部把电能转换成热能，这样在电源频率不是很高的情况下，可以把它们看成是消耗电能的“电阻元件”。对于电感线圈，若其内阻较小，可忽略不计时，在一定条件下可以把它们看成是存储磁场能量的“电感元件”。对于各种电容器，在一定条件下可以把它们看成是能够存储电场能量的“电容元件”。对于干电池、直流稳压电源、发电机等，在一定条件下可以把它们看成是向外提供电能的“电源元件”。根据端子的数目，理想电路元件可分为二端元件、三端元件和四端元件等。

由理想电路元件构成的电路称为实际电路的“电路模型”。如图 1.1 所示，图(a)为手电筒的实际电路，若把小灯泡看成是电阻元件，用 R 表示，考虑到干电池内部自身消耗的电能，把干电池看成是电阻元件 R_s 和电压源 U_s 串联，连接导线看成为理想导线(其电阻为零)。这样，手电筒的实际电路就可以用电路模型来表示，如图 1.1(b)所示。

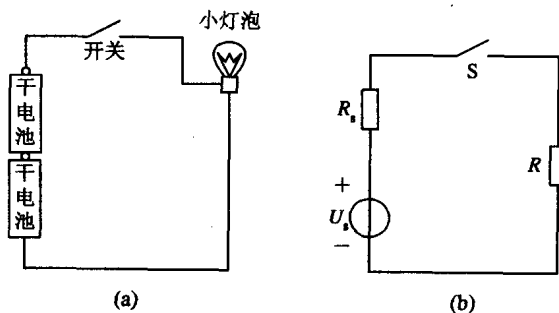


图 1.1 实际电路与电路模型

(a) 实际电路；(b) 电路模型

值得注意的是，用理想电路元件或它们的组合模拟实际元件的过程，就是建立其模型的过程(简称建模)。建模时必须考虑工作条件，并按不同精确度的要求把给定工作情况下的主要物理现象及功能反映出来。例如，在直流情况下，一个线圈的模型可以是一个电阻元件；在较低频率下，可用电阻元件和电感元件的串联组合来模拟；在较高频率下，还应考虑导体表面的电荷作用，即电容效应，所以其模型需要包含电容元件。可见在不同的条件下，同一实际元器件可能采用不同的模型。模型取得恰当，电路的分析和计算结果就与实际情况接近；模型取得不恰当，则会造成很大误差，有时甚至导致自相矛盾的结果。如果模型取得太复杂就会造成分析的困难；反之，如果取得太简单，就不足以反映所需求解

的真实情况。例如，白炽灯除具有消耗电能的性质外(电阻性)，当通过电流时还会产生磁场，因此它还具有电感性。但电感很小，可忽略不计，则可以认为白炽灯是一个电阻元件。若电路要求精确度较高，则电感成分就不能忽略。所以建模问题需要专门研究，本书不作介绍。

1.1.3 单位制

1984 年国务院发布的《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》，明确规定国际单位制(SI)是我国法定计量单位的基础。1986 年修订后，国务院再次发布命令，要求全面执行。在国际单位制中有 7 个基本单位。其中：长度以米(m)为单位；质量以千克(kg)为单位；时间以秒(s)为单位；电流以安培(A)为单位；热力学温度以开尔文(K)为单位；物质的量以摩尔(mol)为单位；发光强度以坎德拉(cd)为单位。其他物理量的单位可以根据其定义从这些基本单位导出。例如，电荷量的单位是库仑(C)， $1\text{ C}=1\text{ As}$ ；力的单位是牛顿(N)， $1\text{ N}=1\text{ kg}\cdot\text{m/s}^2$ 等。为了使单位含义清楚，并简化单位名称及符号，有些物理量的导出单位也可以用具有专门名称的 SI 导出单位表示，如功率的单位是瓦特(W)， $1\text{ W}=1\text{ J/s}$ ；电压的单位是伏特(V)， $1\text{ V}=1\text{ W/A}$ 。(以上均见国标 GB3100-86。)

除了 SI 主单位之外，有时需用 SI 单位的十进制倍数单位和分数单位，在使用这些单位时需要在原单位前加词头。例如， $1\text{ kV}=10^3\text{ V}$ ， $1\text{ mV}=10^{-3}\text{ V}$ 。SI 常用倍数与分数词头如表 1-1 所示。

表 1-1 SI 常用倍数与分数词头

倍率	词头名称词	词头符号	分率	词头名称词	词头符号
10^{24}	尧[它] yotta	Y	10^{-1}	分 deci	d
10^{21}	泽[它] zetta	Z	10^{-2}	厘 centi	c
10^{18}	艾[可萨] exa	E	10^{-3}	毫 milli	m
10^{15}	拍[它] peta	P	10^{-6}	微 micro	μ
10^{12}	太[拉] tera	T	10^{-9}	纳[诺] nano	n
10^9	吉[咖] giga	G	10^{-12}	皮[可] pico	p
10^6	兆 mega	M	10^{-15}	飞[母托] femto	f
10^3	千 kilo	k	10^{-18}	阿[托] atto	a
10^2	百 hecto	h	10^{-21}	仄[普托] zepto	z
10	十 deca	da	10^{-24}	幺[科托] yocto	y

【思考与练习题】

1. 电路由几部分组成？各部分在电路中起什么作用？
2. 实际电路和电路模型有什么关系？

1.2 电路中的基本物理量

在电路理论中，电路的基本物理量(表征量)分为两类：基本变量和复合量。电路的基

本变量有四个：电流、电压、电荷和磁通，其中最常用的有两个，即电流和电压。电路的基本复合量有两个：电功率和电能(量)。

1.2.1 电流

在物理课中已经学过，电荷的定向移动形成电流(current)。电流的实际方向习惯上指正电荷运动的方向，电流的大小常用电流强度(current intensity)来表示。电流强度指单位时间内通过导体横截面的电荷量。电流强度习惯上常简称为电流。

电流主要分为两类：一类为大小和方向均不随时间改变的电流，称为恒定电流，简称直流(direct current)，常简写作 dc 或 DC，其强度用符号 I 或 i 表示；另一类为大小和方向都随时间变化的电流，称为变动电流，其强度用符号 i 表示。其中一个周期内电流的平均值为零的变动电流称为交流(alternating current)，常简写作 ac 或 AC，其强度也用符号 i 表示。

图 1.2 给出了几种常见电流，(a)为直流，(b)、(c)均为交流。

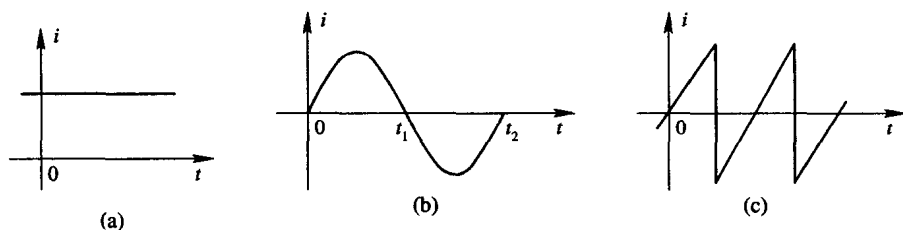


图 1.2 几种电流

(a) 直流；(b) 正弦电流；(c) 锯齿波

对于直流，单位时间内通过导体横截面的电荷量是恒定不变的，其电流强度为

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-1)$$

对于变动电流(含交流)，若假设在一很小的时间间隔 dt 内，通过导体横截面的电荷量为 dq ，则该瞬间电流强度为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-2)$$

电流的单位是安培(ampere)，SI 符号为 A。它表示 1 秒(s)内通过导体横截面的电荷为 1 库仑(C)。有时也会用到千安(kA)、毫安(mA)或微安(μ A)等，其关系如下：

$$1 \text{ kA} = 1000 \text{ A} = 10^3 \text{ A}$$

$$1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}$$

$$1 \text{ } \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}$$

在分析电路时，对复杂电路中某一段电路里电流的实际方向很难立即判断出来，有时电流的实际方向还会不断改变，因此在电路中很难标明电流的实际方向。为分析方便，在这里，我们引入电流的“参考方向”(reference direction)这一概念。

在一段电路或一个电路元件中事先选定一个电流方向作为电流的参考方向。本书中用虚线箭头表示电流的实际方向，用箭头直接标在电路上表示电流的参考方向，也可以用双下标表示，如 i_{ab} 表示其参考方向由 a 指向 b 。参考方向是任意选定的，而电流的实际方向是

客观存在的。因此，所选定的电流参考方向并不一定就是电流的实际方向。当选定电流的参考方向与实际方向一致时， $i > 0$ ；当选定电流的参考方向与实际方向相反时， $i < 0$ 。电流的参考方向与实际方向如图 1.3 所示。

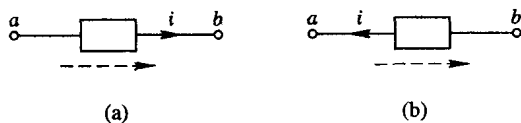


图 1.3 电流的参考方向与实际方向
(a) $i > 0$; (b) $i < 0$

电流的参考方向选定后不再改变，而电流的实际方向有时是随时间变化的，这种变化可以用电流的正、负来体现。例如，对于同一个电流，如图 1.4(a)所示，通过电阻 R 在 $0 \sim t_1$ 段时间内， $i > 0$ ，电流实际方向与参考方向相同，如图 1.4(b)所示；在 $t_1 \sim t_2$ 段时间内， $i < 0$ ，电流的实际方向与参考方向相反，如图 1.4(c)所示。这说明，只有在规定电流的参考方向时，电流才成为一个代数量，有正、负可言；不规定参考方向而谈电流的正、负是没有意义的。

电流的参考方向是实际存在的，它不因其参考方向选择的不同而改变，即存在 $i_{ab} = -i_{ba}$ 。本书中不加特殊说明时，电路中的公式和定律都是建立在参考方向的基础上的。

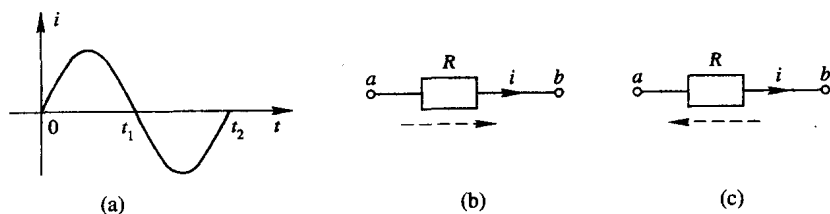


图 1.4 电流的参考方向与实际方向的关系

1.2.2 电压

在物理课中我们已经学过，电路中 a 、 b 两点间电压的大小等于电场力把单位正电荷由 a 点移动到 b 点所做的功。电压的实际方向就是正电荷在电场中受电场力作用移动的方向，用虚线表示。

在直流电路中，电压为一恒定值，用 U 或 u 表示，即

$$U = \frac{W}{Q} \quad (1-3)$$

在变动电流电路中，电压为一变值，用 u 表示，即

$$u = \frac{dW}{dq} \quad (1-4)$$

电压的单位是伏特(volt)，简称伏，用符号 V 表示，即电场力将 1 库仑(C)正电荷由 a 点移至 b 点所做的功为 1 焦耳(J)时， a 、 b 两点间的电压为 1 V。有时也需用千伏(kV)、毫伏(mV)或微伏(μV)作单位。

像需要为电流指定参考方向一样,在电路分析中,也需要为电压指定参考方向。在元件或电路中两点间可以任意选定一个方向作为电压的参考方向。电路图中,电压的参考方向一般用实线箭头表示,如图 1.5 所示,也可用双下标 u_{ab} (电压参考方向由 a 点指向 b 点)或“+”、“-”极性表示(电压参考方向由“+”极性指向“-”极性)。

当电压的实际方向与它的参考方向一致时,电压值为正,即 $u > 0$;反之,当电压的实际方向与它的参考方向相反时,电压值为负,即 $u < 0$ 。电压的参考方向与实际方向的关系如图 1.6 所示。

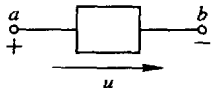


图 1.5 电压的参考方向表示法

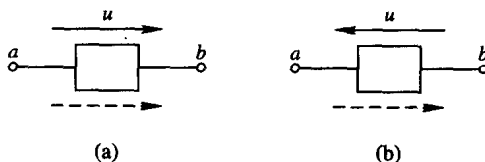


图 1.6 电压的参考方向与实际方向

(a) $u > 0$; (b) $u < 0$

电压的实际方向也是客观存在的,它决不因该电压的参考方向选择的不同而改变。由此可知: $u_{ab} = -u_{ba}$ 。

一个元件的电流或电压的参考方向可以独立地任意指定。如果指定流过元件的电流的参考方向是从标以电压正极性的一端指向负极性的一端,即两者的参考方向一致,则我们把电流和电压的这种参考方向的关系称为关联参考方向,简称关联方向,如图 1.7(a)所示;当两者不一致时,称为非关联参考方向,简称非关联方向。在图 1.7(b)中, N 表示电路的一个部分,它有两个端子与外电路连接,电流 i 的参考方向自电压 u 的正极性端流入电路,从负极性端流出,两者的参考方向一致,所以是关联方向;图 1.7(c)所示的电流和电压的参考方向是非关联方向。

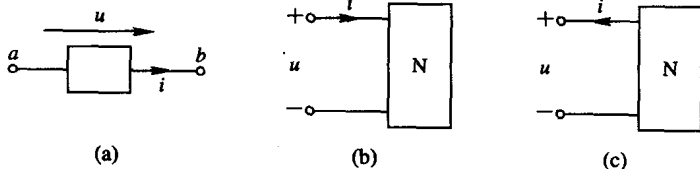


图 1.7 关联方向与非关联方向

1.2.3 电位

在复杂电路中,经常用电位的概念来分析电路。所谓电位是指在电路中任选一点作为参考点,某点到参考点的电压就叫做该点的电位。电位用 V 表示,电路中 a 点的电位可表示为 V_a ,如图 1.8 所示,其参考方向规定为 a 点为参考正极性,参考点 o 为参考负极性。电位的单位和电压的单位一样,用伏特(V)表示。

需要说明的是,电路中参考点是任选的,通常可把

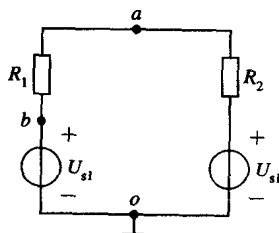


图 1.8 电位的表示

用电设备的接地点或电路的公共连线作为参考点。参考点的电位为零。

图 1.8 中, 已知 a 、 b 两点的电位分别为 V_a 、 V_b , 则此两点间的电压为

$$U_{ab} = U_{ao} - U_{bo} = V_a - V_b$$

即

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-5)$$

由此可以看出, 参考点选得不同, 电路中各点的电位值随着改变, 但是任意两点间的电压值是不变的。所以各点电位的高低是相对的, 而两点间的电压值是绝对的。

1.2.4 功能和能量

在电路的分析和计算中, 能量和功率的计算是十分重要的。这是因为: 一方面, 电路在工作时总伴随有其他形式能量的相互交换; 另一方面, 电气设备和电路部件本身都有功率的限制, 在使用时要注意其电流值或电压值是否超过额定值, 过载会使设备或部件损坏, 或是不能正常工作。

电功率与电压和电流密切相关。当正电荷从元件上电压的“+”极经过元件移动到电压的“-”极时, 与此电压相应的电场力要对电荷做功, 这时, 元件吸收能量; 反之, 正电荷从电压的“-”极经过元件移动到电压“+”极时, 电场力做负功, 元件向外释放电能。

从 t_0 到 t 的时间内, 元件吸收的电功可根据电压的定义(a 、 b 两点的电压在量值上等于电场力将单位正电荷由 a 点移动到 b 点时所做的功)求得, 即

$$W = \int_{q(t_0)}^{q(t)} u \, dq$$

由于 $i = dq/dt$, 因此

$$W = \int_{t_0}^t u(t)i(t) \, dt \quad (1-6)$$

在直流电路中, 电流、电压均为恒值, 在 $0 \sim t$ 段时间内电路消耗的电能为

$$W = UI t \quad (1-7)$$

注意: 上述两公式在使用时要求电压和电流为关联参考方向。计算的能量为元件或电路消耗的能量。

在 SI 中, 能量的单位为焦耳, 简称焦, SI 符号为 J。此外, 能量还有一个常用的单位为度。1 度 = 1 千瓦时。

电路消耗(或吸收)的功率等于单位时间内电路消耗(或吸收)的能量。由此可定义

$$p = \frac{dW}{dt} = ui \quad (1-8)$$

在直流电路中, 电流、电压均为常量, 故

$$P = UI \quad (1-9)$$

以上两式中, 电流和电压为关联参考方向, 计算的功率为电路消耗(或吸收)的功率。若电流和电压为非关联参考方向, 如图 1.9 所示, 这时 u' 与 i 为非关联参考方向, $u' = -u$, 电路消耗的功率为 $p = ui = -u'i$ 。也就是说, 当某段电路上电流和电压为非关联参考方向时, 这段电路消耗(或吸收)的功率为

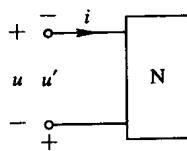


图 1.9 功率的计算